

X 線 CT 法を用いた静的締固め試験の可視化

神戸大学	学生会員	○寺島 裕樹
神戸大学	正会員	河井 克之
熊本大学	正会員	椋木 俊文
熊本大学	正会員	大谷 順
神戸大学	学生会員	柴田 昌輝
神戸大学		後藤 浩司

1. はじめに

盛土をはじめとする土構造物は、その経済性や長期的安定性から、土木工事において古くから使用されてきた。しかし、その品質管理はこれまで経験的な規定によってのみ定められてきたといえる。盛土の品質は締固めによって決まる。盛土構造物を今後も有効に利用し、かつ安全性を正確に評価していくためには、締固めをより力学的な観点から評価していくことが必要である。本研究では、締固めを「不飽和土の非排水圧縮変形」とし、熊本大学所有の産業用 X 線 CT スキャナを用いて静的締固め試験の X 線 CT 撮影¹⁾を行った。特に供試体内の不均一性に着目し、締固めが供試体内に及ぼす影響を検証した。

2. 試験装置と試験の流れ

図-1 に本試験で用いた試験装置の概要を示した。本試験装置は、三軸試験を X 線 CT 撮影するために、専用に開発した三軸試験装置である。本研究ではさらに、この三軸試験装置に圧密リングを取り付け、一次元的に締固め試験ができるように改良した。所定の含水比に調整された硅砂 8 号(表-1・図-2)を圧密リングに投入し、静的に締固めを行う。その際、載荷終了時の供試体の乾燥密度が 1.35Mg/m³ になるようにした。締固めは変位制御(載荷速度 1.0mm/min)で供試体高さが 10mm になるまで載荷し、その後同じ速度で除荷する。試験中は鉛直応力と、ペデスタル部に設置されたセラミックディスクを介して供試体内のサクションを測定している。またサクションを測定する際は加圧板法を用いている。含水比は 12%・20%・28%の 3 ケースとした。X 線 CT 撮影を行うタイミングは締固め開始前(初期状態)・載荷終了直後・除荷終了後とし、X 線 CT 撮影条件は管電圧 300kV、照射厚 0.3mm、撮影ピッチ 1mm とした。

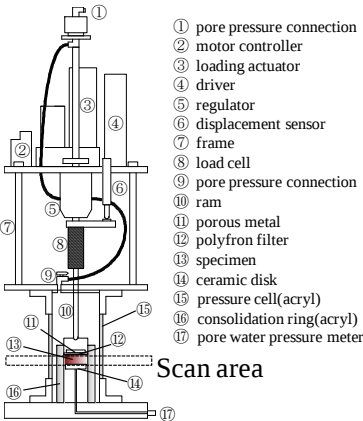


図-1 X 線 CT 撮影用三軸試験装置

表-1 硅砂 8 号の材料特性

土粒子密度	最小密度	最大密度
2.65 Mg/m ³	1.104 Mg/m ³	1.496 Mg/m ³
平均粒径	均等係数	曲率係数
0.06mm	3.40	1.91

3. 試験結果

図-3・4 に各含水比、各撮影段階における供試体の X 線 CT 画像(供試体中央部)を示す。CT 値の表示範囲を -1000<CT Value<1000 に統一し、その範囲を 256 階調の濃淡で表示している。まず(a)初期状態の X 線 CT 画像より、空隙が多いこと、また試料の団粒化が生じていることが確認できる。特に含水比の高い方が画像の濃淡の差がはっきりしており、密度の差が大きいことがわかる。これは、試料の団粒化がより顕著であるためと考えられる。(b)載荷終了直後の画像をみると全体に白色とな

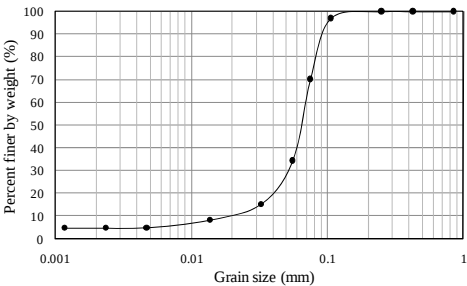


図-2 硅砂 8 号の粒径加積曲線

キーワード X 線 CT 法, 締固め, 不飽和土,

連絡先 〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学都市安全研究センター TEL 078-803-6281

り、団粒化がある程度解消していることがわかる。しかし、含水比の高い方が供試体周囲において黒色部分が残っており、密度のばらつきがより大きいことがわかる。

図-5・図-6に、CT値より算出した各含水比、各撮影段階における供試体鉛直方向の湿潤密度分布を示した。図より、初期状態はどの含水比の場合でも湿潤密度のばらつきが大きいことがわかる。載荷終了直後・除荷終了後は、含水比12%の供試体はほぼ高さごとに均質の湿潤密度分布となったが、含水比28%においては、供試体の上部ほど湿潤密度が小さくなることがわかった。これは初期状態の密度のばらつきが大きいこと、団粒化しやすいことが要因として考えられる。

図-7・図-8に目標含水比12%の鉛直応力変化・サクシオン変化を示した。鉛直応力変化をみると、試料をできるだけゆるい状態でつめていたために載荷開始後しばらくは変化せず、圧縮が進んでいくと急激に増加している。また除荷を開始すると、急激に鉛直応力が減少していることがわかる。サクシオン変化をみると、鉛直応力の増加に伴って減少しはじめ、負の値を示していることがわかる。その後、載荷が終了する前に増加に転じ、初期と同程度の値に落ち着く。この現象は、供試体の間隙水圧を底面でのみ測定していることに起因すると考えられる。間隙水圧は圧縮中の水分移動によっても変化するが、本試験の場合その影響よりも外的な載荷の影響が大きく、供試体底部に局所的な過剰間隙水圧が発生したものと考えられる。さらに圧縮が進むとその過剰間隙水圧は供試体全体に分配されるために、サクシオンは一定の値に落ち着くと考えられる。除荷時サクシオンは急激に増加し、また減少して初期と同程度の値に落ち着く。

4. 結論

本試験において、含水比の違いによって静的締固め試験の供試体内に湿潤密度のばらつきが生じることがわかった。今後より大きいサイズの供試体をX線CT撮影で可視化し、含水比分布や飽和度分布との関係を検証することによって、より詳細に供試体内の不均一性を把握できると期待される。

【謝辞】本研究は熊本大学大谷・椋木研究室の皆様のご協力で行われたものである。付記して、深く御礼申し上げます。

【参考文献】1) 椋木俊文：地盤工学におけるX線CTの適用に関する研究，平成12年度熊本大学大学院自然科学研究科博士論文，2001。

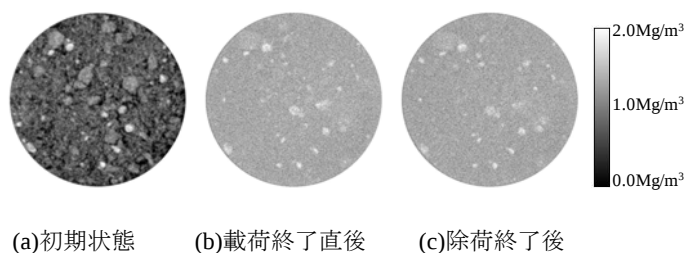


図-3 目標含水比12%供試体中央部X線CT画像

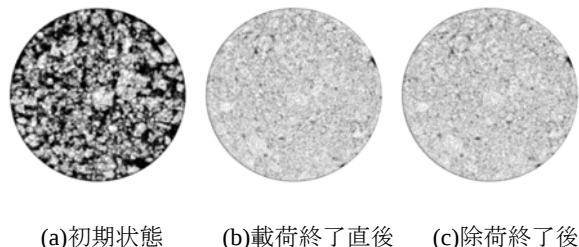


図-4 目標含水比28%供試体中央部X線CT画像

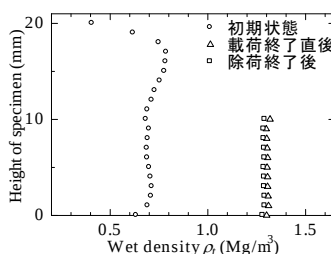


図-5 目標含水比12%
供試体湿潤密度分布

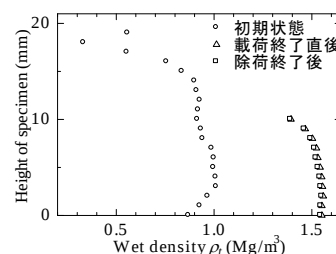


図-6 目標含水比28%
供試体湿潤密度分布

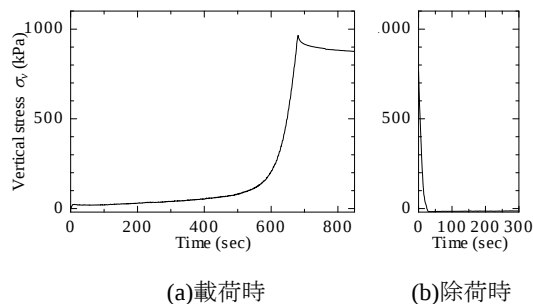


図-7 目標含水比12%鉛直応力変化

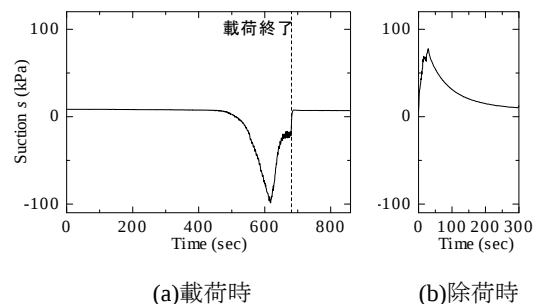


図-8 目標含水比12%サクシオン変化